

PRIORIZAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS ATRAVÉS DA METODOLOGIA MULTICRITÉRIO DE APOIO À DECISÃO ALINHADA COM A VISÃO ESTRATÉGICA DO WCM

Thalles Vitelli Garcez

Universidade Federal de Pernambuco
Av. Prof. Moraes Rego, 1235 Recife - Pernambuco
tvgarcez@gmail.com

Débora Farias

Universidade Federal de Pernambuco
Av. Prof. Moraes Rego, 1235 Recife - Pernambuco
debora.ofarias08@gmail.com

RESUMO

Com um mercado muito mais exigente e competitivo, as empresas se vêm pressionadas a realizarem ajustes em seus modelos de gestão, afim de garantir eficiência dos seus sistemas. Para alcançar tais objetivos muitas buscam na filosofia do *World Class Manufacturing* (WCM) para obter um padrão de competição global. Nesse sentido, a função manutenção apresenta-se como um dos fatores chaves, isto porque, ela é responsável pela disponibilidade dos ativos e possui um custo associado bastante significativo para os resultados empresariais. Hoje, o mercado dispõe de muitas ferramentas e metodologias que vem sendo amplamente utilizados conjuntamente com a WCM. Porém, em diversas situações, a aplicabilidade dessas ferramentas e metodologias não é viável, tendo em vista a ausência de dados ou de estrutura da empresa para sua implementação. Portanto, procuram-se alternativas economicamente viáveis e eficazes. Diante do exposto, o trabalho visa apresentar uma alternativa metodológica para priorização dos equipamentos em hierarquia de criticidade, aplicando os conceitos do WCM e da metodologia de suporte a decisão multicritério. Um estudo de caso foi realizado em uma empresa fabricante de acumuladores elétricos. Os critérios considerados foram: manutenibilidade, confiabilidade, segurança, qualidade, impacto operacional e custo.

PALAVRAS CHAVE. WCM, Priorização, Equipamentos, Multicritério.
ADM - Apoio à Decisão Multicritério / OA - Outras aplicações em PO

ABSTRACT

With a much more demanding and competitive market, companies have come under pressure to carry out adjustments to their business models in order to ensure efficiency of their systems. To achieve these goals many seek the philosophy of World Class Manufacturing (WCM) to reach a pattern of global competition. In this sense, the maintenance function is presented as one of the key factors; this because it is responsible for the availability of assets and has a highly significant associated cost to business results. Today, the market offers many tools and methodologies that have been widely used together with the WCM. However, in many situations, the applicability of these tools and methodologies is not feasible, given the absence of data or of structure the company for its implementation. Therefore, seeking economically viable and effective alternatives. Given the above, this work presents a methodological alternative to prioritizing equipment by criticality hierarchy, applying the concepts of WCM and support multicriteria decision methodology. A case study was conducted in a manufacturer of electric accumulators. The criteria used were: maintainability, reliability, safety, quality, operational impact and cost.

KEYWORDS. WCM, prioritization, Equipment, Multicriteria.
ADM - Multicriteria Decision Support / OA - Other applications in OR

1. Introdução

A necessidade das empresas de alcançarem a eficiência industrial, ou seja, de tornarem-se indústrias de classe mundial é evidente. Com a formação de blocos econômicos cada vez mais acirrados e com um mercado muito mais exigente e competitivo, as empresas se veem pressionadas a realizarem ajustes em seus modelos de gestão, afim de garantir eficiência dos seus sistemas.

Para alcançar tais objetivos, muitas buscam na filosofia do *World Class Manufacturing* (WCM), ou Manufatura de Classe Mundial, para alcançar um padrão de competição global. Segundo Jazayeri & Hopper (1999), o WCM pode ser definido como uma síntese das técnicas de gestão em um ambiente de manufatura contemporânea, e esse está fundamentado em pilares de atuação, a nível gerencial e técnico, que abrangem diversas áreas da empresa como segurança, custo, qualidade, manutenção, desenvolvimento de pessoas entre outros, sempre com foco na eliminação das perdas [Paľucha 2012].

Nesse sentido a manutenção apresenta-se como um dos fatores chaves para alavancar a empresa ao nível de classe mundial, isto porque, ela é responsável pela disponibilidade dos ativos e possui um custo associado bastante significativo para os resultados financeiros da empresa. Comprova-se tal significância através da pesquisa bianual realizada pela Abramson (2013) em que o custo de manutenção no Brasil representa 4,3% do nosso Produto Interno Bruto (PIB).

Ressalta-se que a gestão da manutenção foi encarada por muito tempo como um centro de custo necessário a produção, tendo grande parte desse custo associado aos exaustivos programas de manutenção preventiva. Porém, com a rápida difusão das técnicas de produção enxuta, o olhar sob a manutenção passou a focar na disponibilidade e confiabilidade dos equipamentos. Para tanto, ferramentas como análises de modo de falhas e efeitos e sistemas especialistas, metodologias de apoio à decisão e técnicas para monitoramento de condições passaram a ser utilizadas para atender as necessidades e condições operacionais das empresas [Moubray 1997].

A definição de quais sistemas (subsistemas, equipamento, itens) ou modos de falha são mais críticos para a missão sistema de produção é uma decisão importante, e normalmente usada para auxiliar o planejamento de manutenção. Como resultado, um plano ou estratégia de manutenção só é definida após identificar quais são sistemas críticos ou modos de falha no sistema. Dependendo do sistema/equipamento que falha, consequências multidimensionais irão surgir, tais como, perdas financeiras, na disponibilidade, na segurança, na imagem da empresa, etc. [de Almeida et al. 2015].

Portanto, uma abordagem multicritério de tomada de decisão é adequada para tratá-la. As metodologias multicritério consideram a estrutura de preferências de um decisor (DM) e envolve o juízo de valor dele, a fim de apoiar a escolha da alternativa, e ao fazê-lo, os múltiplos critérios serão analisados simultaneamente [de Almeida et al. 2015].

Diante do exposto, o trabalho visa apresentar a utilização de um método multicritério de apoio a decisão (MCDA), especificamente o método PROMETHE II, que alinhado com a visão estratégica do WCM, procura estabelecer um ranking dos equipamentos críticos para manutenção, afim de garantir a disponibilidade e confiabilidade necessárias.

Para tanto, o trabalho apresenta nos próximos tópicos a metodologia utilizada para desenvolver a aplicação do MCDA em uma empresa que tem como sistema de gestão o WCM, em seguida será apresentado um breve conceitual teórico, afim de embasar as aplicações metodológicas que são apresentadas posteriormente, e por fim serão relatados os resultados do método e as percepções e conclusões sobre o trabalho desenvolvido.

2. Metodologia

Este trabalho caracteriza-se por sua natureza aplicada, que segundo Prodanov & de Freitas (2013), pretende-se gerar conhecimentos para aplicação prática orientados à solução de problemas específicos. Quanto ao objetivo o trabalho enquadra-se como exploratório, pois tem a

finalidade de produzir informações sobre o assunto, possibilitando a formulação de hipóteses ou de um novo tipo de enfoque sobre o tema estudado [Gil 2010].

Segundo Gil (2010), os procedimentos técnicos utilizados para suportar esta pesquisa foram à pesquisa bibliográfica alinhada ao estudo de caso. Sua estrutura foi elaborada em seis fases, delineadas de maneira a proporcionar um entendimento lógico e aplicável.

A primeira e segunda fase pretende conhecer o problema, através da observação *in loco* na empresa, em especial no setor de manutenção. Depois da observação inicial estruturou-se a problemática com base no alinhamento das necessidades do novo sistema de gestão e das atividades básicas de manutenção.

A terceira fase refere-se a pesquisa bibliográfica, sobre o problema identificado, através de livros, periódico, revistas e artigos. Na quarta fase baseado nos conceitos teóricos adquiridos e nas observações realizadas foi proposto uma estrutura de planejamento para manutenção que alinha as necessidades básicas da manutenção com direcionadores do WCM.

A quinta e sexta fase resume-se na coleta e aplicação dos dados na proposta de solução formulada, destacando-se os resultados e discussões, juntamente os pontos positivos e as possibilidades de melhorias para solução encontrada.

3. Base conceitual

3.1. Evolução da manutenção

No último século, os ativos (equipamentos, sistemas e edificações) experimentaram um desenvolvimento acelerado em termos de variedade e tecnologia, o que afetou diretamente a visão sobre os modelos de manutenção. No entanto, Smith & Hinchcliffe (2003) ressaltam que até o final da década de 70 a operação e a manutenção (O&M) não eram consideradas como prioridade nas estratégias empresariais.

Essa situação se reverteu quando a O&M passou ser analisada sobre a perspectiva de segurança, rentabilidade e fatores ambientais, além do despertar para a ligação existente entre a manutenção e a qualidade do produto. Outro fator para o desenvolvimento da manutenção foi a necessidade, cada vez maior, de se alcançar a máxima disponibilidade na planta a custos mínimos [Moubray 1997; Smith & Hinchcliffe 2003].

Esse novo olhar sob a manutenção levou ao desenvolvimento de novas expectativas, pesquisas e técnicas, que segundo Moubray (1997), configura a terceira geração da manutenção. Essa nova geração traz não somente uma enxurrada de técnicas, normas e conceitos, mas também a necessidade de selecionar adequadamente as mesmas, afim de lidar com cada tipo de processo de falha e cumprir as expectativas dos proprietários e utilizadores dos ativos.

3.1. WCM

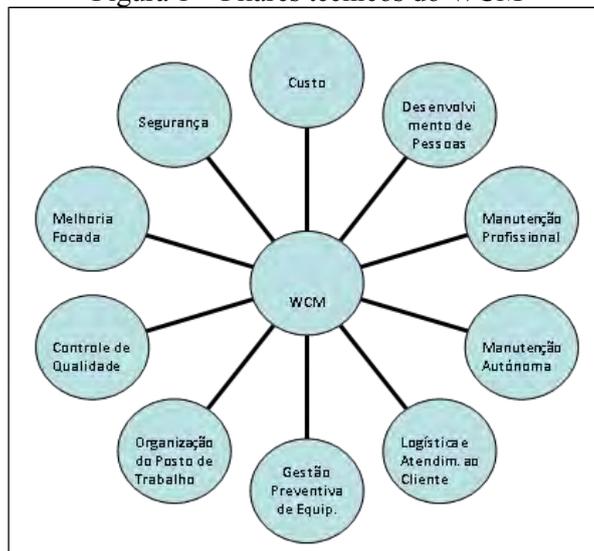
O termo *World Class Manufacturing* (WCM) foi usado pela primeira vez por Hayes e Wheelwright, em 1984, que o descreveram como um conjunto das melhores práticas de gestão. Este conceito foi formulado com base em uma profunda análise das práticas implementadas por empresas japonesas e alemãs, que buscavam o mercado de exportação, também acompanharam as empresas norte americana, que já concorriam nesse mercado, verificando assim a existência de práticas comuns entre as empresas que mais se destacaram [Flynn, Schroeder, & Flynn 1999].

Publicações mais recentes trazem o WCM como uma filosofia de gestão com foco na produção e sua implementação exige tanto mudanças de atitudes e crenças, a exemplo da gestão de relacionamentos com clientes e os treinamentos operacionais, como mudanças estruturais como a adoção de novas tecnologias e de ambos Gestão de Qualidade Total (TQM) e *Just-in-time* (JIT) [Dogan 2013; Lind 2001].

Nesse sentido a implementação do WCM exige um modelo de gestão prático, que segundo Palucha (2012), deve ser baseado no modelo de gestão da Toyota, visando a alta qualidade e a confiabilidade que exige uma produção de classe mundial. Esse modelo de gestão está fundamentado em dez pilares gerenciais e dez pilares técnicos que são apresentados na Figura 1.

Essa metodologia de gestão baseada em pilares permite desenvolver um sistema eficaz que visa eliminar as fontes de problemas. Cada um dos dez pilares contemplam um grupo específico de objetivos, contudo as medidas tomadas em um pilar são frequentemente refletidas em outro, essa dinâmica de interação é importante para melhoria contínua exigida pelo WCM [Paľucha 2012].

Figura 1 – Pilares técnicos do WCM



Fonte: Adaptado de Paľucha (2012)

3.2. Métodos multicritérios de apoio a decisão

Para de Almeida et al. (2015) um problema de decisão multicritério consiste numa situação, em que há pelo menos duas alternativas de ação para se escolher, e essa escolha é conduzida pelo desejo de se atender a múltiplos objetivos, muitas vezes conflitantes entre si.

Os métodos multicritérios de apoio a decisão (MCDA) são modelagens formais, afim de suportar o decisor em sua tomada de decisão. Contudo, salienta-se que os métodos não apontam a solução ótima, mas sim direcionam para melhor solução com base nas restrições e no perfil de preferência do decisor.

A utilização do MCDA deve levar em consideração o resultado esperado e os tipos de dados disponíveis para o tratamento do problema. Existem três tipos principais de métodos multicritérios que são [de Almeida et al. 2015]: Métodos de critérios únicos de síntese, onde esses agregam os critérios em um único critério de síntese; Métodos de sobreclassificação, neste a avaliação das alternativas é realizada par a par estabelecendo um sentido de superação entre as alternativas; Métodos interativos, são associados a programação linear multiobjectivo.

Para fins desse trabalho, conforme refletido pela estrutura de preferência do decisor, será utilizado como base os métodos de sobreclassificação, visto que proporcionam uma comparação par a par entre as alternativas e assumem a possibilidade de incomparabilidade na estrutura de preferência do decisor. Ressalta-se que para esse tipo de método as avaliações são não compensatórias, utilizando-se a noção de grau de importância para os critérios, evitando assim o favorecimento de alternativas que possuem um excelente desempenho em um critério, mas que sejam fracas nos demais [de Almeida & Costa 2002].

Destaca-se duas famílias de métodos de sobreclassificação, a família ELECTRE e a PROMETHEE. Para esse trabalho será utilizado a família do PROMETHEE, especificamente o método PROMETHEE II, uma vez que ele proporciona a construção de uma relação sobreclassificação valorada, envolvendo critérios que podem ser interpretados de forma física ou econômica, facilitando a análise do decisor [de Almeida 2013].

3.2.1 Método PROMETHEE

O método PROMETHEE (*Preference Ranking Method for Enrichment Evaluation*), consiste em construir uma relação de sobreclassificação de valores onde o decisor deve estabelecer para cada critério um peso, w_j , que cresce com a importância do critério. O método PROMETHEE apresenta seis formas diferentes de o decisor representar suas preferências, não necessariamente usando a mesma forma para todos os critérios [de Almeida et al. 2015]. Eles identificam a intensidade da preferência, onde os critérios são: critério usual, quase-critério, limite de preferência, pseudocritério, área de indiferença e critério Gaussiano.

Conforme o modo como a preferência do decisor aumenta com a diferença entre o desempenho das alternativas para cada critério, $[g_j(a) - g_j(b)]$, ele pode definir uma função $F(a, b)$, que assume valores entre 0 e 1. Esses valores aumentam se a diferença de desempenho ou a vantagem de uma alternativa em relação a outra aumenta e é igual a zero se o desempenho de uma alternativa for igual ou inferior ao da outra.

Estabelecidas as intensidades de preferências, obtém-se o grau de sobreclassificação $\pi(a, b)$ para cada par de alternativas (a, b) , sendo calculado como segue [de Almeida et al. 2015]:

$$\pi(a, b) = \sum_{j=1}^n w_j F_j(a, b)$$

em que w_j é o peso para o critério j , e os pesos são normalizados, tal que $\sum_{j=1}^n w_j = 1$

Em seguida, determina-se os fluxos de entrada e saída, da seguinte forma:

- Ordem decrescente de $\phi^+(a)$, em que: $\phi^+(a) = \sum_{b \in A} \pi(a, b)$, chamado de fluxo de saída, representa a intensidade de preferência de a sobre todas as alternativas. Então, quanto maior $\phi^+(a)$, melhor a alternativa.
- Ordem crescente de $\phi^-(a)$ em que: $\phi^-(a) = \sum_{b \in A} \pi(b, a)$, chamado de fluxo de entrada, representa a intensidade de preferência de todas as outras alternativas sobre a . Então, quanto menor $\phi^-(a)$, melhor a alternativa.

No método PROMETHEE I, duas pré-ordens são construídas, com base nos fluxos de entrada e saída, os quais indicam a relação de preferência (P), a indiferença (I) e incomparabilidade (J) entre os pares de alternativas. Portanto, PROMETHEE I resulta em pré-ordem parcial das alternativas. Já método PROMETHEE II baseia-se no fluxo de líquido, dado por $\phi(a) = \phi^+(a) - \phi^-(a)$, em que cada alternativa possuirá uma pontuação, e conseqüentemente, resultará em uma pré-ordem completa sobre os elementos do conjunto de alternativas.

4. Discussões

4.1. Contextualização

O estudo ocorreu em uma empresa fabricante de acumuladores elétricos, que atua nos seguimentos de baterias automotivas, tracionárias, estacionárias e náuticas, atendendo a grandes clientes-parceiros como a Fiat, Ford, GM, Mercedes-Benz e Volkswagen entre outros.

A empresa atua desde 2000 com o sistema de Manutenção Produtiva Total (TPM), desde então o setor de manutenção vem trabalhando em conjunto com a operação na busca pela redução de perdas decorrentes de quebras, setup, micro paradas, perdas de qualidade, perdas por tempo ocioso, procurando a maximização da eficácia do equipamento durante sua vida útil.

Já no ano de 2013, por razões estratégicas, a empresa iniciou a implantação do WCM, esse novo modelo de gestão traz como base a redução dos custos de produção, através de métodos e ferramentas focadas na eliminação de perdas. Algumas dessas ferramentas já haviam

sido implementadas nas empresas devido aos sistemas de gestão paralelos atuantes como TPM, QSB (*Quality System Basics*) e o Lean.

Contudo, alguns métodos e ferramentas estavam sendo subutilizados ou mal interpretados, a exemplo da classificação dos equipamentos, que foi implantada junto com o TPM e trata-se de uma ferramenta estratégica para o pilar de Manutenção Profissional.

A elaboração de tal classificação foi baseada em cinco dimensões, que são: Produção, Qualidade, Entrega, Custo e Segurança. Essas dimensões utilizam as principais informações disponíveis na empresa como, por exemplo, tempo de máquina parada, horas gastas pela manutenção na recuperação de quebras. Avaliou-se também o impacto do equipamento sobre a linha de produção e sobre a empresa, além da segurança e custos envolvidos na manutenção. Os critérios são melhores detalhados no Quadro 1.

Tal classificação foi utilizada pelo pilar de Manutenção Profissional para iniciar um programa de manutenção estruturado, onde foram definidos os tipos de manutenção em preventiva, preditiva ou corretiva a serem aplicadas a cada equipamento.

Quadro 1 – Critérios de Classificação dos Equipamentos

Critérios de Classificação dos Equipamentos			
Dimensão	Avaliação		
	05 Pontos	03 Pontos	01 Ponto
Segurança	Provoca poluição/ dano severo ou alto risco de acidente	Provoca poluição/ dano moderado ao médio risco de acidente	Provoca pouca poluição/ dano ou baixo risco de acidente
Qualidade	Alto impacto na qualidade do produto final	Médio impacto na qualidade do produto final	Baixo impacto na qualidade do produto final
Entrega	Dependendo da falha/quebra pode resultar em parada geral da Fábrica	Dependendo da falha/quebra pode resultar em parada geral de uma linha ou setor específico	Possui equipamento reserva ou é mais econômico consertar após a falha/quebra
Produção	O equipamento possui MTTR>60 min ou MTBF<241h	O equipamento possui MTTR entre 31 e 60 min ou MTBF entre 241 e 480 h	O equipamento possui MTTR<30 min ou MTBF>480h
Custo	Maior que R\$ 1.001,0 por mês	Entre R\$ 501,0 e R\$ 1.000,0 por mês	Menor que R\$ 500,0 por mês
Equipamento Nível A - Entre 19 a 22 pontos Equipamento Nível B - Entre 13 a 19 pontos Equipamento Nível C - Menor que 13 pontos			

Fonte: A empresa

Contudo essas dimensões/critérios passaram por algumas avaliações e observações quando da implementação do WCM, e percebeu-se que nas três primeiras dimensões, a avaliação ocorre de maneira subjetiva e depende da percepção dos especialistas da área para realizar a pontuação. Já na dimensão produção encontram-se dois pontos importantes a serem analisados. O primeiro trata da avaliação em conjunto de dois indicadores distintos: MTTR (tempo médio para reparar) e MTBF (tempo médio entre falhas). Quando lê-se: “MTTR>60 min ou MTBF<241h” percebe-se que existe uma perda de informação quanto aos conceitos de disponibilidade e confiabilidade, tem-se ainda um horizonte temporal muito extenso para pontuação do equipamento em relação ao MTBF. Pelo Quadro 1 de critérios, um equipamento é tido como crítico se o MTBF for menor que 241h (≈10 dias); tal intervalo não está ajustado a atual demanda da empresa. Nota-se ainda que a última dimensão, custo, está parametrizada com valores desatualizados e que não agregam informação a classificação dos equipamentos.

4.2. WCM na empresa

Com base nas observações levantadas faz-se necessário uma revisão no método de classificação dos equipamentos para que a implantação do WCM, em especial do pilar de

Manutenção Profissional, para que seja efetiva e alcance os resultados de zero quebra, a maximização da vida útil, a melhoria da confiabilidade e eficiência dos equipamentos a custos mínimos.

Para tanto, o WCM traz duas tradicionais metodologias para classificação dos equipamentos mais críticos; a primeira é baseada unicamente nos custos associados ao pilar de MP, isto é, todos os custos relacionados a quebras, manutenção e set-up, onde essas informações serão fornecidas pelo pilar de Custo através das ferramentas internas desse pilar, que são as Matriz C e a Matriz D. Porém, essa classificação só é recomendada quando a diferença entre os custos é relevante de um equipamento para o outro; a segunda é chamada de TGPC, que é uma metodologia que classifica os equipamentos de acordo com: (T) tempo médio de reparo, (G) grau de influência, (P) probabilidade de evento e (C) criticidade, conforme apresentado no Quadro 2. No caso da empresa em estudo os custos relacionados ao pilar de MP são bem-estáveis e sem grandes variações entre um equipamento e outro, logo, a classificação dos equipamentos deve ser realizada seguindo o TGPC.

A metodologia TGPC propõe a análise de dez itens que estão alinhados as quatro dimensões principais (Tempo, Influência, Probabilidade e Criticidade). Cada item atribui uma pontuação que ao final será somada e servirá para definir a classificação do equipamento.

Quadro 2 – Critérios TGPC

Classificação	Descrição	Nº	Item	Linhas guia para atribuição da pontuação
Tempo de conserto (T)	Tempo médio de parada máquina (calculado pelo sistema recolhimento dados defeito)	1	Tempo médio de parada máquina (MTTR)	5 : > 0 min ≤ 20 min 32 : > 20 min ≤ 59 min 35 : > 59 min
Grau de influência (G)	Efeito sobre outras máquinas/aparelhos em termos de segurança, produção, ambiente, custos.	2	Uso da máquina/Aparelho	1 : Demanda de Peças/Dia ≤ 150 3 : Demanda de Peças/Dia > 150 ≤ 800 5 : Demanda de Peças/Dia > 800
		3	Efeito sobre a qualidade do produto (KPI de Qualidade)	Efeito sobre os KPI de qualidade > 10% = 5; Nenhum efeito = 1
		4	Custo da não qualidade (retorno do cliente)	> R\$30.000.00 = 5 < R\$3.000.00 = 1
		5	Perdas de energia	> R\$13.000.00 = 5 < R\$5.000.00 = 1
		6	Impacto sobre a produção	% De perdas > 15 = 5 % De perdas < 15 = 1
		7	Impacto da avaria na segurança das pessoas	Alto risco para os funcionários = 5, Sem risco = 0
		8	Impacto de avaria sobre o ambiente	Alto risco para o ambiente = 5, efeito modesto = 1
Probabilidade de defeitos (P)	Tempo médio entre eventos de avarias baseado em dado histórico - MTBF	9	Frequência de parada por avaria	35 : > 0 hrs ≤ 15 hrs 32 : > 15 hrs ≤ 30 hrs 05 : > 30 hrs
Criticidade do maquinário (C)	Baseado em criticidades do Maquinário em relação às consequentes paradas da oficina	10	Criticidade do maquinário em relação a parada da(s) oficina(s)	20 = não tem impacto sobre a oficina / processo 40 = tem impacto sobre a oficina < 1 horas 60 = tem impacto sobre a oficina > 1 horas 80 = tem impacto em mais de uma oficina < 1 horas 100 = tem impacto em mais de uma oficina > 1 horas

Fonte: A empresa

Percebe-se que a metodologia do TGPC exige uma grande quantidade de dados relacionados aos equipamentos. Apesar de ser a metodologia recomendada pelo WCM, hoje sua aplicabilidade na empresa em estudo esbarra na ausência ou na dificuldade de coleta de tais dados, restando a mesma utilizar a antiga classificação realizada durante a implantação do TPM, Quadro 1.

5. Aplicação do PROMETHEE

Com base nas informações coletadas in loco e nos referenciais teóricos, pode-se iniciar a modelagem do problema, sendo o primeiro passo a definição da problemática, de quem é o decisor, das alternativas e dos critérios que serão utilizados para avaliá-las. O decisor em questão será o coordenador de manutenção da empresa, que é responsável pelo planejamento, gerenciamento e coordenação das atividades de manutenção na referida empresa.

A problemática em estudo demanda a priorização em nível de criticidade dos equipamentos avaliados. Isso é justificado devido a necessidade do decisor identificar quais equipamentos devem ser tratados primeiramente, dado que os recursos são escassos. Portanto, o decisor deseja identificar a priorização dos equipamentos, sob uma visão alinhada ao WCM.

Tendo em vista a dimensão da empresa em estudo, e seu inventário de equipamentos, preferiu-se, inicialmente como um projeto piloto, avaliar a priorização de equipamentos de apenas uma de suas linhas de produção. Nesse sentido temos como alternativas seis equipamentos que fazem parte da Linha-X da empresa, esses terão seus nomes omitidos estrategicamente para garantir segurança da empresa, sendo então nomeados como: EQ_1; EQ_2; EQ_3; EQ_4; EQ_5; EQ_6.

Quanto aos critérios de avaliação, como anteriormente comentado, o WCM orienta a utilização do TGPC, porém a empresa não dispõe de todos os dados requisitados. Logo, o decisor opta por ajustar os antigos critérios e alimentá-los com ferramentas trazidas pelo o WCM, assim tem-se os novos critérios apresentados no Quadro 4.

Quadro 4 – Novos critérios para priorização dos equipamentos

Critérios para nova classificação dos Equipamentos			
Critérios	Descrição	Item de Controle	Avaliação
Mantenabilidade	Tempo de recuperação do equipamento	MTTR	Em horas
Confiabilidade	Tempo médio entre falhas	MTBF	Em horas
Segurança	Impacto das falhas sobre a segurança das pessoas e do meio-ambiente	Índice de segurança	Avaliação qualitativa realizada com base AET – Análise Ergonômica do Trabalho
Qualidade	Impacto das falhas sobre a qualidade do produto	Matriz QA	% do impacto na Matriz de Qualidade
Impacto Operacional	Impacto da falha sob o processo produtivo	-	Falha/quebra resulta em parada geral da fábrica Falha/quebra resulta em perda geral da linha e ou setor Falha/quebra pode ser sanada facilmente ou possui equipamento reserva
Custo	Custa da manutenção (material e mão-de-obra)	Matriz C	Em R\$

Fonte: A empresa

Ao analisar esse novo conjunto de critérios observa-se que os conceitos de manutenibilidade e confiabilidade estão de fato sendo observados. Já os critérios de custo e qualidade foram alimentados com duas ferramentas do WCM, as matrizes de custo e qualidade, que possuem atualizações periódicas, o que transforma a priorização dos equipamentos em uma ferramenta viva para manutenção. Apenas os critérios segurança e impacto operacional serão considerados de maneira qualitativa. Nota-se que no caso da segurança a avaliação tem como base estudo científico da área, somente as avaliações sobre o impacto dependeram exclusivamente da percepção do decisor.

Dados de entrada do modelo, conforme informado pelo decisor são descritos na Tabela 1 e Tabela 2. Os critérios manutenibilidade, confiabilidade e custo foram considerados como lineares e os demais como critérios usuais.

Tabela 1 – Detalhamento dos dados de entrada do modelo

Referências	Critérios					
	MTTR	MTBF	Custos	Qualidade	Segurança	Impacto
Min/Max	Maximizar	Minimizar	Maximizar	Maximizar	Minimizar	Maximizar
Peso (w)	12,77	12,77	14,89	21,28	21,28	17,02
Tipo de Preferência	Linear	Linear	Linear	Usual	Usual	Usual
Lim. Indiferença (q)	0,025	100	\$ 2.000,00	n/a	n/a	n/a
Limite Preferência (p)	0,250	300	\$ 10.000,00	n/a	n/a	n/a

Tabela 2 – Matriz de decisão (Alternativa x Critérios)

	Mantenabilidade	Confiabilidade	Segurança	Qualidade	Operação	Custo
EQ_1	0,80	51	Moderado	40%	Moderado	\$50.000,00
EQ_2	0,77	82	Moderado	50%	Moderado	\$30.000,00
EQ_3	4,92	1723	Muito Baixo	100%	Muito Baixo	\$12.000,00
EQ_4	0,83	202	Muito Baixo	80%	Moderado	\$18.000,00
EQ_5	1,07	493	Muito Baixo	20%	Moderado	\$10.000,00
EQ_6	0,5	1382	Muito Baixo	100%	Muito Baixo	\$2.000,00

Com base nas informações coletadas e aplicando a metodologia PROMETHEE II, com o auxílio do software Visual PROMETHEE, processaram-se os dados obtendo os fluxos líquidos, ϕ , para as alternativas como mostrado na Tabela 3.

Tabela 3 – Fluxo líquido PROMETHEE II

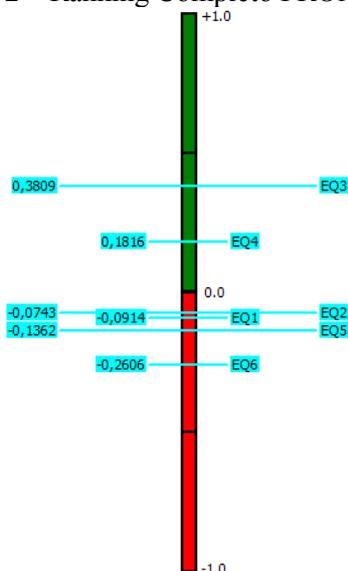
Alternativas	ϕ	ϕ^+	ϕ^-
EQ_3	0,3809	0,5830	0,2021
EQ_4	0,1816	0,4193	0,2377
EQ_2	-0,0743	0,3430	0,4173
EQ_1	-0,0914	0,3347	0,4261
EQ_5	-0,1362	0,2935	0,4297
EQ_6	-0,2606	0,2809	0,5415

Estabeleceu-se uma ordem de criticidade que vai do equipamento mais crítico para o menos crítico (Tabela 3). O equipamento EQ_3 é o mais crítico da Linha-X analisada, visto que ele apresenta o maior fluxo líquido ($\phi = 0,3809$), conforme graficamente através do gráfico do *ranking completo*, como apresentado na Figura 2.

Nesse ponto tem-se uma priorização dos equipamentos mais críticos da Linha-X com base nos novos critérios de avaliação e nos pesos estabelecidos pelo decisor. Esta nova priorização se diferencia do modelo antigo por alguns fatores. Entre eles está o fato que se mensura quantitativamente o nível de criticidade de um equipamento, o que antes era dado em pontuações pré-estabelecidas dificultando a diferenciação dos níveis de criticidade.

Outro ponto a ser destacado, como exemplo, analisaremos os equipamentos EQ_2 e EQ_3, ambos classificados no modelo anterior como de nível crítico (conforme mostrado no Quadro 5), com a mesma pontuação geral de 15 pontos. Interpreta-se que as ações de melhoria para essas alternativas devam ser tomadas na mesma intensidade para os dois equipamentos. Porém, com a aplicação da metodologia proposta neste trabalho de priorização percebe-se, na Figura 2, que o equipamento EQ_3 é mais crítico comparado ao EQ_2, logo as ações devem ser direcionadas (priorizadas), primeiramente ao EQ_3. Essa análise permite ao pilar de manutenção focar as ações e reduzir custos em ações que não agregariam tanto valor a um equipamento de menor criticidade.

Figura 2 – Ranking Completo PROMETHEE



Quadro 5 – Antiga classificação de Equipamentos

LISTA DE CLASSIFICAÇÃO DE EQUIPAMENTOS							M.Q. ? () SIM (x) NÃO	ED.: 04,	SETOR:	
Equipamento	Parâmetros					Total de Pontos	Classificação			Tipo de Manutenção Aplicável
	Produção	Qualidade	Entrega	Custo	Segurança		Nível A (Crítico)	Nível B (Importante)	Nível C (Secundário)	
EQ_2	3	3	3	3	3	15				PREVENTIVA, INSPEÇÃO, CORRETIVA PLANEJADA E PÓS QUEBRA
EQ_4	3	5	1	1	1	11				INSPEÇÃO, CORRETIVA PLANEJADA E PÓS QUEBRA
EQ_1	3	3	3	3	3	15				PREVENTIVA, INSPEÇÃO, CORRETIVA PLANEJADA E PÓS QUEBRA
EQ_6	1	5	1	1	1	9				CORRETIVA PLANEJADA E PÓS QUEBRA
EQ_3	5	5	1	3	1	15				PREVENTIVA, INSPEÇÃO, CORRETIVA PLANEJADA E PÓS QUEBRA
EQ_5	3	1	1	1	1	7				CORRETIVA PLANEJADA E PÓS QUEBRA

Fonte: A Empresa

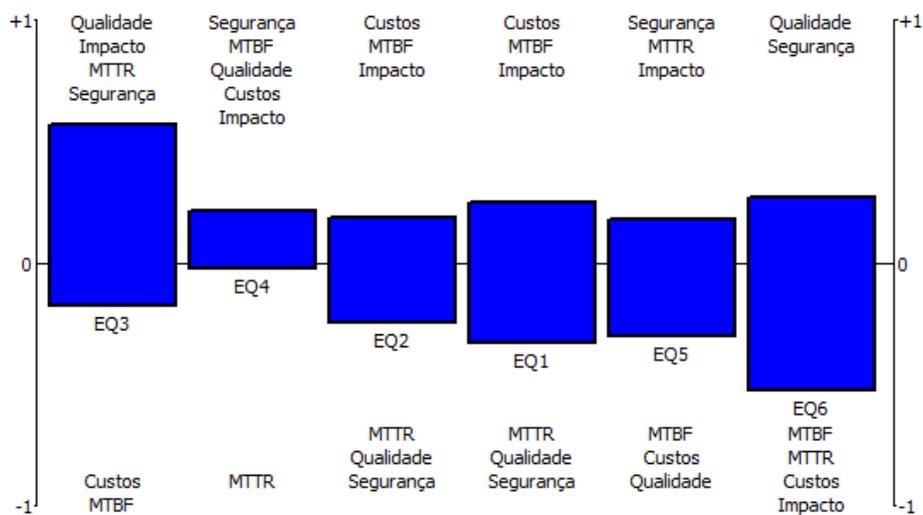
Ressalta-se, ainda, que a utilização de uma modelagem multicritério de sobreclassificação, como é o PROMETHEE, permite não só valorar o nível de criticidade, mas também apontar os critérios que mais impactam para a alternativa (ou seja, equipamento analisado). Portanto, direciona ações para a mais crítica dimensão de consequência. Essa informação pode ser visualizada pela ferramenta *PROMETHEE Rainbow*, conforme mostrada na Figura 3.

O PROMETHEE Rainbow é uma desagregação do fluxo líquido gerado no PROMETHEE. Essa desagregação torna clara a leitura de como cada critério influenciou no resultado final. Assim, para cada equipamento é apresentado os critérios que o influenciam positivamente ou negativamente para o seu nível de criticidade. Observando na Figura 3, para o equipamento EQ_3 – apresentado como o mais crítico – nota-se que os critérios de qualidade,

impacto operacional, MTTR, e segurança foram os que mais contribuíram pelo seu alto nível de criticidade.

Essa leitura é fundamental para atuação do pilar de PM, visto que uma vez direcionado o equipamento mais crítico através do PROMETHEE II é preciso direcionar os esforços para ações que atuem diretamente nas dificuldades. No mesmo exemplo do EQ_3, por exemplo, o pilar de PM deve direcionar ações de melhorias para diminuir, por exemplo, o tempo do MTTR (através de treinamento, uso de ferramental, diminuição de tempo administrativo, etc.), mas não se deve demandar energia com ações de melhoria para aumentar o MTBF, uma vez que essa dimensão não é um critério que impacta significativamente para esse equipamento. Portanto, essa lógica deve ser aplicada a toda ação que for ser implantada pelo pilar PM.

Figura 3 – PROMETHEE Rainbow



6. Conclusão

A aplicação de uma gestão a nível de classe mundial exige grande esforço e dedicação e deve ser suportada metodologicamente. Hoje o mercado dispõe de muitas ferramentas e métodos que vem sendo amplamente utilizados em empresas que atuam com a metodologia do WCM, porém, em algumas situações, quanto a sua aplicabilidade não é viável, tendo em vista ausência de dados ou a falta estrutura para implementação, assim sendo, procuram-se alternativas economicamente viáveis e eficazes.

Nesse sentido o trabalho apresenta uma alternativa metodológica para priorização dos equipamentos através de uma hierarquia de criticidade, aplicando os conceitos do WCM e da metodologia de suporte a decisão multicritério. Para tanto utilizou-se do método PROMETHEE e dos conceitos da ferramenta TGPC que faz parte do sistema de gestão do WCM.

Após a modelagem e simulação de valores coletados na empresa em estudo, observou-se que o trabalho alcançou os resultados esperados, onde foi possível avaliar a priorização dos equipamentos através de um ranking valorado. Também se observou a possibilidade de avaliar como cada critério impacta no resultado do nível de criticidade dos equipamentos encontrado, portanto direcionando ações preventivas e mitigativas mais eficientes. Salienta-se que a utilização de um software favorece a análise das informações, tornando possível simular cenários com níveis de importância diferentes para os critérios, ampliando assim as perspectivas da gestão e da decisão.

Para futuros trabalhos propõe-se a continuidade da utilização do modelo multicritério para definição das melhores práticas de manutenção alinhadas aos níveis de criticidades já estabelecidos nesse trabalho. Ressalta-se a contribuição do trabalho na formatação de um modelo de suporte a decisão ajustado de forma a atender as necessidades metodológicas do WCM bem

como as restrições de informações apresentadas, com possibilidade de ser ajustado a outras demandas.

AGREDECIMENTOS

Este trabalho é parcialmente financiado pela Universidade Federal de Pernambuco (UFPE).

REFERÊNCIAS

- de Almeida, A. T. (2013). Processo de Decisão nas Organizações: Construindo Modelos de Decisão Multicritério (Decision Process in Organizations: Building Multicriteria Decision Models). *São Paulo: Editora Atlas*.
- de Almeida, A. T., Cavalcante, C. A. V., Alencar, M. H., Ferreira, R. J. P., de Almeida-Filho, A. T., & Garcez, T. V. (2015). *Multicriteria and Multiobjective Models for Risk, Reliability and Maintenance Decision Analysis* (Vol. 231). Cham: Springer International Publishing. <http://doi.org/10.1007/978-3-319-17969-8>
- de Almeida, A. T., & Costa, A. P. C. S. (2002). Modelo de decisão multicritério para priorização de sistemas de informação com base no método PROMETHEE. *Gestão & Produção*, 9(2), 201–214. <http://doi.org/10.1590/S0104-530X2002000200007>
- Dogan, O. I. (2013). The Impact on the Operational Performance of World Class Manufacturing Strategies: Faculty of Economics and Administrative Sciences. *International Journal of Business, Humanities and Technology*, 3(8), 141–149. Retrieved from http://www.ijbhtnet.com/journals/Vol_3_No_8_December_2013/16.pdf
- Flynn, B. B., Schroeder, R. G., & Flynn, E. J. (1999). World class manufacturing: an investigation of Hayes and Wheelwright's foundation. *Journal of Operations Management*, 17(3), 249–269. [http://doi.org/10.1016/S0272-6963\(98\)00050-3](http://doi.org/10.1016/S0272-6963(98)00050-3)
- Gil, A. C. (2010). Métodos e técnicas de pesquisa social. In *Métodos e técnicas de pesquisa social*. Atlas.
- Jazayeri, M., & Hopper, T. (1999). Management accounting within world class manufacturing: a case study. *Management Accounting Research*, 10(3), 263–301. <http://doi.org/10.1006/mare.1999.0106>
- Lind, J. (2001). Control in world class manufacturing—A longitudinal case study. *Management Accounting Research*, 12(1), 41–74. <http://doi.org/10.1006/mare.2000.0148>
- Moubray, J. (1997). *Reliability centered maintenance*. Butterworth-Heinemann.
- Pałucha, K. (2012). World Class Manufacturing model in production management. *International Scientific Journal*, 58(2), 227–234. Retrieved from http://www.archivesmse.org/vol58_2/58221.pdf
- Prodanov, C. C., & de Freitas, E. C. (2013). *Metodologia do Trabalho Científico: Métodos e Técnicas da Pesquisa e do Trabalho Acadêmico-2ª Edição*. Editora Feevale.
- Smith, A. M., & Hinchcliffe, G. R. (2003). *RCM--Gateway to World Class Maintenance*. Butterworth-Heinemann.